DigiTwin:didact

Maschinen verstehen mit dem Digitalen Zwilling in AR/VR-Lernszenarien

Jana Hönig[1], Marc Schnierle[1], Timm von Bergen[1], Christopher Polak[1], Sascha Röck[1]

Abstract: Der Beitrag skizziert einleitend grundlegende Defizite in Lerneinheiten der Automatisierungstechnik. Als Lösungskonzept werden Digitale Zwillinge der Maschinen vorgeschlagen, die mit realer Steuerungsalgorithmik und AR/VR kombiniert werden. Die informationstechnische Umsetzung dieses Konzepts in der `Digital Twin as a Service´ Plattform ermöglicht die Entwicklung und Bereitstellung von AR/VR-Lernszenarien. Auf Basis der technologischen Beschreibung werden vier Lernszenarien aus der Robotik aufgezeigt, die bereits in der beruflichen Bildung, der Hochschulbildung und der industriellen Bildung erfolgreich eingesetzt werden. Am Beispiel eines ausgewählten Lernszenarios werden die Lernziele und das didaktische Design detailliert betrachtet. Abschließend wird auf die Evaluierung eingegangen. Ergänzend zu diesem schriftlichen Beitrag ist unter https://www.virtual-automation-lab.de/avril2020 ein Kurzvideo über das Lösungskonzept, die Software-Plattform sowie die Lernszenarien abrufbar.

Keywords: Digitaler Zwilling, Steuerungstechnik, Robotik, Augmented Reality, Virtual Reality, Lernszenarien, Autorensystem

1 Einleitung

Robotik als eine tragende Säule moderner Automatisierungstechnik hat in industriellen Anwendungen eine immer größer werdende Bedeutung. Vor diesem Hintergrund muss die Aus- und Weiterbildung hochqualifizierter technischer Fachkräfte in Schulen, Hochschulen und Unternehmen stetig weiterentwickelt werden. Lerneinheiten an realen Maschinen der Automatisierungstechnik werden aktuell häufig instruktions-orientiert dominiert. Diese Lernform ist jedoch mit verschiedenen Defiziten behaftet:

- Meist steht nur eine reale Maschine für viele Lernende zur Verfügung
- Oft geht von der realen Maschine ein großes Gefahrenpotential aus
- Die Komplexität der Maschine kann nur unzureichend visualisiert werden
- Häufig wird der Stand der Technik durch vorhandene alte Maschinen nicht abgebildet
- Lernort und Lernzeit sind durch Standort und Verfügbarkeit der Maschine determiniert

Der vorliegende Beitrag schlägt zum Ausschluss dieser Defizite ein Lösungskonzept vor, das auf dem Digitalen Zwilling der Maschine in Kombination mit der realen Steuerungsalgorithmik sowie AR/VR basiert.

[1] Hochschule Esslingen, Virtual Automation Lab, Kanalstraße 33, 73728 Esslingen, vorname.nachname@hs-esslingen.de

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

2 Lösungskonzept

Im Mittelpunkt des Konzepts zur Lösung der geschilderten Defizite steht der Einsatz von Digitalen Zwillingen der Maschinen unter Beibehaltung der realen Steuerungsalgorithmik. Die Digitalen Zwillinge sollen als digitale Repräsentation der realen Maschine neben der geometrischen Gestalt auch das relevante Verhalten abbilden und gleichermaßen eine multisensorische Immersion und Interaktion in AR/VR durch die Lernenden ermöglichen (siehe Abbildung 2-1).

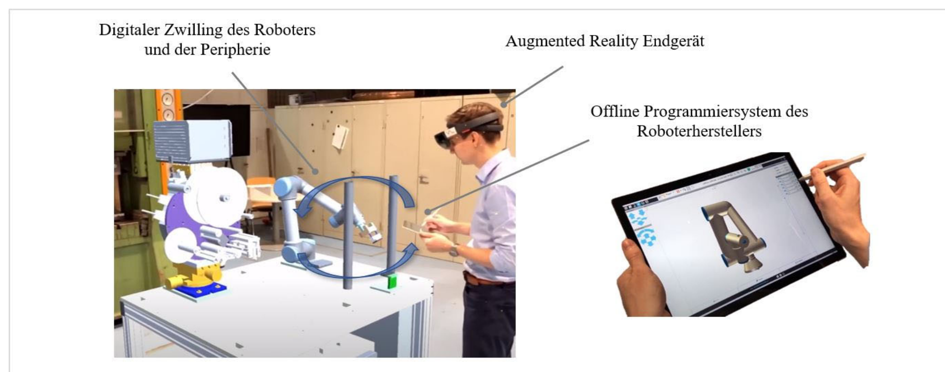


Abbildung 2-1: Digitaler Zwilling meets AR/VR - Grundprinzip

Für den erfolgreichen und systematischen Einsatz von AR/VR in der Lehre, sind verschiedene Anforderungen an dieses Konzept zu stellen (siehe [Ze18]). Beispielsweise müssen die industriellen Steuerungssysteme und bestehende Softwaresysteme der konventionellen Lehre flexibel integrierbar sein, um die Qualität und die Akzeptanz der Lehre zu sichern. Außerdem müssen AR/VR-Lernszenarien mit geringen Vorkenntnissen der Lehrenden und geringem Aufwand erstellbar sein. Es ist dabei eine hohe Wiederverwendbarkeit der Module anzustreben. Darüber hinaus ist eine endgeräteunabhängige Bereitstellung der Modelle für eine hohe Verfügbarkeit für Lernende unabdingbar.

3 Soft- und Hardware

Zur Verbindung der AR/VR-Domäne mit der industriellen Steuerungs- und Simulationsdomäne wird am Virtual Automation Lab die sogenannte `Digital Twin as a Service´ (DTaaS) Plattform im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsprojekten entwickelt. Die Plattform verbindet entsprechend Abbildung 3-1 die Operational Technology (z.B. Maschinen oder Simulationstools) mit der Information Technology (z.B. AR/VR-Brillen, Tablets, Webbrowser). Ein besonderes Merkmal der Plattform ist eine modulare Softwarearchitektur, die einen schnittstellenbasierten Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Endgeräten und Mehrwertdiensten ermöglicht.

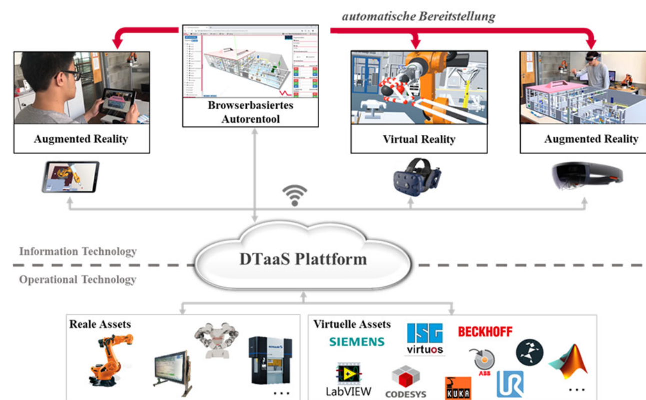


Abbildung 3-1: Digital Twin as a Service Plattform verbindet AR/VR und Digitale Zwillinge

Innerhalb des Autorentools können Digitale Zwilling erstellt und eingebunden werden, die mit modellierbaren Interaktionen manipuliert (vgl. [Sc18] und [Hö20]) und gleichzeitig an reale Steuerungen oder Simulationswerkzeuge angebunden werden können. Das erstellte Lernszenario steht automatisch auf verschiedenen AR/VR-Endgeräten zur Verfügung (vgl. [Fr18]). Die Endgeräte müssen hierzu lediglich über eine bereitgestellte Schnittstellen-App verfügen. Die Plattform ermöglicht somit den Autoren selbst erstellte AR/VR-Szenarien ohne spezifische AR/VR-Kenntnisse einer breiten Masse zur Verfügung zu stellen. Folgende weitere Vorteile der DTaaS Plattform sind zu identifizieren:

- Integration domänenspezifischer Software, die bereits in der Lehre eingesetzt wird
- Intuitives Autorensystem zur Erstellung von AR/VR-Lernszenarien
- Standort-, zeit- und endgeräteunabhängige Verfügbarkeit der Lerninhalte
- Konstruktives Lernen anhand von Interaktionen innerhalb der AR/VR-Szene
- Förderung kollaborativer Problemlösung
- Wiederverwendbarkeit von Lerninhalten

4 Lernszenarien

Auf Basis der vorgestellten Plattform können Lehrende schnell und auf einfache Weise AR/VR-Lernszenarien generieren. Das Konzept ermöglicht dabei die Übertragbarkeit und Anwendung in anderen Domänen. Bereits heute wird die DTaaS Plattform zur Erstellung verschiedener Lernszenarien in der beruflichen Bildung, der Hochschulbildung sowie der industriellen Bildung eingesetzt. In Abbildung 4-1 sind ausgewählte realisierte AR/VR-Lernszenarien aufgezeigt.

Lern-szenario	Robotik in der beruflichen Bildung	Regelungstechnik	Konstruktion und Kinematisierung	Roboter-programmierung
Einsatz	Berufliche Schule	Hochschule	Hochschule	Industrielle Bildung
Impression				
Lernziele	• Grundlagen der Robotik • Roboterverhalten (z.B. Singularitäten) • Roboter-programmierung	• Regelungstechnische Grundlagen • Regler-Entwurf und Simulation mit Matlab/ Simulink • Parameter-identifikation	• Auslegung komplexer Roboter-Kinematiken • Modellierung Vorwärts-/Rückwärts-transformation • Numerische Lösungsverfahren	• Roboter-programmierung mit Offline-Roboter-Programmiersystemen • Prozess- und Steuerungs-optimierung

Abbildung 4-1: Beispielhafte AR/VR-Lernszenarien unter Verwendung der DTaaS Plattform

5 Exemplarisches Lernszenario

Im Folgenden wird exemplarisch das Lernszenario "Konstruktion und Kinematisierung" der begleitenden Laborübung zur Vorlesung "Robotersysteme" des Masterstudiengangs "Ressourceneffizienz im Maschinenbau" der Hochschule Esslingen näher vorgestellt.

5.1 Lernziele

Im Rahmen der Laborübung wenden die Studierenden das theoretische Wissen zur Berechnung und Simulation komplexer serieller und paralleler Kinematiken aus der Vorlesung "Robotersysteme" praktisch an. Die Lernziele dieser Laborübung orientieren sich an der Taxonomie von Anderson und Krathwohl (siehe [An01]). Die Studierenden erlangen im Rahmen dieser Veranstaltung u.a. folgende Kompetenzen:

Kompetenzbereich "Wissen und Verstehen"
Studierende können Methoden zur Kinematisierung serieller und paralleler Kinematiken verstehen
Kompetenzbereich "Einsatz, Anwendung und Erzeugung von Wissen"
Nutzung und Transfer
Studierende können Entwurfsverfahren zur kinematischen und dynamischen Modellbildung von Starrkörpersystemen anwenden
Wissenschaftliche Innovation
Studierende können Methoden für die Simulation von Robotersystemen einschätzen
Kompetenzbereich "Kommunikation und Kooperation"
Studierende können komplexe Themen der Robotik präsentieren und fachlich diskutieren
Studierende können in Gruppenarbeit adäquate Lösungen für die gestellte Aufgabe finden
Kompetenzbereich "Wissenschaftliches Selbstverständnis/ Professionalität"
Studierende können erarbeitete Lösungswege theoretisch und methodisch begründen

5.2 Didaktisches Design

Im Verlauf der Laborübung wird von den Studierenden begleitend zur Vorlesung eine Roboter-Kinematik entwickelt, die vorgegebene Anforderungen erfüllen muss (z.B. Arbeitsraum). Studierende bearbeiten dabei die in Abbildung 5-1 dargestellten Schritte. Die gestellte Transferaufgabe umfasst neben der Konstruktion der Geometrie in einer CAD-Software auch die Anwendung der theoretischen Grundlagen aus dem Bereich der Kinematisierung (z.B. Berechnung der Vorwärts- und Rückwärts-transformation). Die Kinematisierung erfolgt in dem Autorensystem der DTaaS Plattform. Den Studierenden bietet sich jederzeit die Möglichkeit, den Entwicklungsstand auf einem beliebigen AR/VR-Endgerät zu visualisieren. Damit steht eine ständige Unterstützungsmöglichkeit bei der Fehlerbehebung und der dynamischen Überprüfung der Funktionalität bereit.

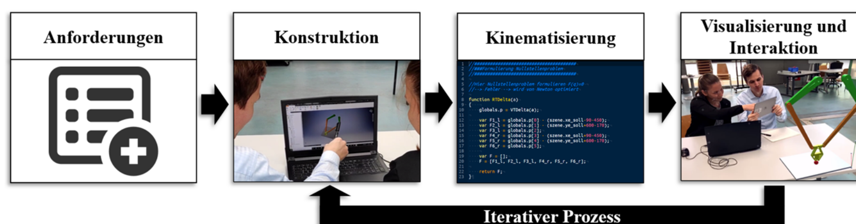


Abbildung 5-1: Ablauf des eigenständigen Entwicklungsprojekts

Basierend auf den aufgezeigten Lernzielen der Laborübung aus Kapitel 5.1 wird nachfolgend das gewählte didaktische Design mit Fokus auf der materialen, prozessualen und sozialen Perspektive des Lernens vorgestellt. Eine Übersicht der eingesetzten Methoden ist in Abbildung 5-2 dargestellt.

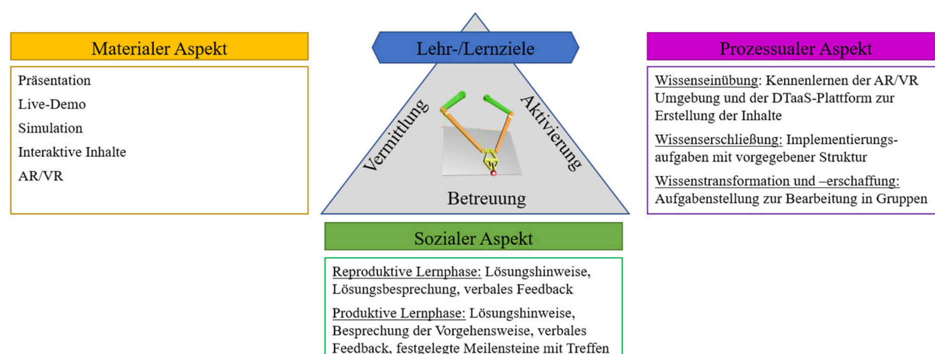


Abbildung 5-2: Didaktisches Design des Lernszenarios "Konstruktion und Kinematisierung"

Die Studierenden nehmen zur Umsetzung der gestellten Aufgabe an einem initialen Workshop teil, der mittels reproduktiver Lerninhalte eine Einführung in die Funktionen der Plattform und der AR/VR-Endgeräte (Wissenseinübung) vermittelt. Anhand praktischer Übungsbeispiele wird der eigenständige Umgang (Wissenserschließung) mit dem System erlernt. Der Wissensstand der Studierenden wird durch die Übungsbeispiele sowie anschließende Fragen geprüft und darauf basierend werden Wissenslücken durch

adaptive Wiederholungen der Lehrinhalte geschlossen. Bei der Auswahl und dem Einsatz der Medien sowie bei der Gestaltung der AR/VR-Inhalte werden die motivationalen und emotionalen Faktoren des Lernprozesses berücksichtigt. Die Studierenden erfahren durch die Manipulation virtueller Inhalte die unmittelbaren Auswirkungen ihrer vorgenommenen Änderungen in der immersiven dreidimensionalen Umgebung.

Die Wissenstransformation der Vorlesungs- und Workshop-Inhalte erfolgt an der eingangs beschriebenen Aufgabenstellung. Die Projektaufgabe wird durch die Studierenden eigenverantwortlich und parallel zu den Präsenzveranstaltungen bearbeitet. Die produktive Lernphase wird dabei durch Sprechstunden und Hilfestellungen begleitet.

6 Evaluationsergebnisse und Einsatzempfehlungen

Das Lernszenario "Konstruktion und Kinematisierung" wurde bereits in zwei Semestern unter realen Lehrbedingungen an der Hochschule Esslingen in dem Master-Studiengang "Ressourceneffizienz im Maschinenbau" mit jeweils circa 15-20 Studierenden erfolgreich eingesetzt. Die medienpädagogische Begleitung und die Evaluation des Lernszenarios erfolgen in interdisziplinärer Zusammenarbeit mit dem Fachbereich Medienpädagogik, Digitale Medien und Hochschulbildung der Fakultät Soziale Arbeit, Gesundheit und Pflege der Hochschule Esslingen. Die Ergebnisse haben sowohl direkten Einfluss in das didaktische Konzept als auch auf die technologische Entwicklung der Digital Twin as a Service Plattform. Über das vorgestellte Lernszenario hinaus wird die Plattform auch in weiteren Bereichen der Hochschullehre, der beruflichen Bildung und der industriellen Bildung eingesetzt und erprobt. In dem vom BMBF geförderten Projekt "MRiLS" wird das vorgestellte Konzept in einem interdisziplinären Konsortium weiterentwickelt und mit Lernszenarien im Bereich der Hardware-in-the-Loop-Simulation unter Betrachtung technologischer und didaktischer Aspekte evaluiert.

Das vorgestellte System ermöglicht durch die neuartige Verbindung von AR/VR-Methoden mit Digitalen Zwillingen industrieller Maschinen die Erweiterung bisheriger Lernformen. Die Methode wird in Zukunft auf weitere Fachbereiche übertragen und damit die didaktisch-methodischen Vorteile von AR/VR in zahlreichen Domänen eröffnen.

Literaturverzeichnis

[Ze18] Zender, R., Weise, M., Von der Heyde, M., Söbke, H.: Lehren und Lernen mit VR und AR - Was wird erwartet? Was funktioniert?. In Proceedings of DeLFI 2018, Frankfurt, 2018.

[Sc18] Schnierle M.; Polak C.; Röck S. : Mensch-Roboter-Interaktion mit Mixed Reality auf Basis einer Digital-Twin-as-a-Service-Plattform. In atp. Essen: Vulkan-Verlag, 2018.

[Fr18] Friedrich T.; Huptych M.; Schnierle M.; Röck S.: Augmented Reality und Flugrobotik – neue Technologien für die Smart Factory. Angewandte Automatisierungstechnik in Lehre und Entwicklung, Köln, 2018.

[Hö20] Hönig, J.; Röck, S.: Digitaler Zwilling der Maschinenbaulabore der Hochschule Esslingen – Intuitive natürliche Interaktion bei der Offline-Roboter-Programmierung, AALE, Leipzig, 2020.

[An01] Anderson, L.; Krathwohl, D.; Airasian. P.; Cruikshank, K.; Mayer, R.; Pintrich, P.; Raths, J.; Wittrock, M.: A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives. 2001.